

研究課題別 中間評価結果

1. 研究課題名: 特異値分解法の革新による情報処理基盤の構築

2. 研究代表者名: 中村 佳正(京都大学 大学院情報学研究科 教授)

3. 研究概要:

本研究の目的は、①さきがけ研究で開発した新しい数学的基盤をもつアルゴリズムである特異値計算法 mdLVs 法と特異値分解法 I-SVD 法に関する基礎研究を継続する。②I-SVD 法による特異値分解の逐次計算コード DBDSL_V を開発し、その改良とチューニングを行い、大規模データの情報処理の実用化基盤を構築する。③I-SVD 法のもつ高い並列化可能性に基づいて従来法より高速な並列型特異値分解コードを開発する、の 3 点である。

以下の 5 項目について成果が得られた。

- (1) DBDSL_V コードの特異ベクトルの直交性の改善: I-SVD 法のパラメータチューニング、特異値分布のシフトとスケール変換を導入することで、種々のベンチマーク行列では QR 法による特異値分解コードに遜色のない程度まで直交性が改善した。
- (2) 左特異ベクトル U の直接計算オプションの追加: 極端に大きな条件数をもつ行列に対しては右特異ベクトルを経由せずに、直接、左特異ベクトルを計算するオプションを設けた。
- (3) 2 重対角行列への変形(前処理部)の高速化: 100000x4000 の密長方形行列の I-SVD 法による特異値分解が、従来の 43 分から 13.5 分に短縮された。
- (4) 特異値計算の dLV 法の漸近安定性が数学的に証明された。
- (5) I-SVD 法の並列化と並列特異値分解コードの開発に向けて: 特異値計算部を分割統治法に置き換えた I-SVD の並列化(Parallel dDC)を実装し、ScaLAPACK の並列特異値分解コード PSTEQR との比較実験において、8CPU による 3000 次行列の特異値分解で、Parallel dDC:0.79 秒、PSTEQR:66.78 秒、という結果を得た。また、Parallel dDC ではメモリ使用量を $O(N)$ に抑えた。

また、革新的な特異値分解法 I-SVD 法の実用化に向けて、以下の 2 項目について研究開発が進展した。

- (6) 専用チップによる信号分離への応用研究: NICT 等との共同研究として、カオス符号、独立成分分析、特異値分解による高速の信号分離を専用チップ上で高速実行する研究を開始した。固定小数点のもとでの四則演算方法が開発された。実用的な精度で I-SVD 法による特異値分解が可能となった。
- (7) 画像圧縮への応用研究: 同志社大学との共同研究として、特異値分解を利用した新しい画像圧縮アルゴリズムの開発を開始した。強いストライプのある画像に、一種のノイズとして「ふち」をつけることで、特異ベクトルの直交性が向上して、強いストライプがあっても JPEG を上回る優れた PSNR 値(画質の指標)が得られた。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況と今後の見込み

さきがけ研究において成果は十分に出ているが、発展研究においても成果は十分に出しており、研究は着実に進展しているといえる。特異値計算法と特異値分解法の基礎研究とコード実装に関して、大幅な改善が定量的に示されている。多様な共同研究による、応用展開における実用上の課題発掘とその問題解決へのアプローチが研究の好循環を生んでいる。新しい着想による新計算法や理論が展開され、長年に渉る数値解析分野の懸案課題の解決に迫る研究が推進されている。

4-2. 研究成果の現状と今後の見込み

特異値計算法と特異値分解法の基礎研究とコード実装において、国際水準を超えるレベルにある。計算法の理論と応用の両面を追究するとともに、応用による実用上の課題を発掘し、これを新たな課題と捉えて、研究を展開する方向性は理にかなっている。共同研究に関しては、進捗状況と成果見込みを考慮しながら優先度をつけて推進することが望ましい。特異値計算の並列化による計算の高速化や医療画像処理への応用展開は将来的に非常に有望である。医療画像に限らずこの技術の応用範囲は広いと考えられる。欧米の標準数学パッケージLAPACKをしのぐ性能をSVDで達成しており、科学的・技術的インパクトは非常に高い。特許の出願、論文発表等は十分に行われている。

4-3. 総合的評価

特異値計算法と特異値分解法を中心とした高速高精度高信頼アルゴリズムの基礎研究に基づいた研究成果は、欧米の標準パッケージより高い性能を得ている。また、信号分離、画像圧縮等の応用研究では、今後のさらなる発展が期待出来る。また、研究代表者は、非線形力学、数値計算に優れた知識を有し、かつユニークなアルゴリズムの開発能力を有しており、この分野における我が国の国際競争力を高めることが期待出来る。